

調質銅合金薄板の形成加工性に及ぼす影響因子とその評価

著者	畠山 浩一
号	3038
発行年	2002
URL	http://hdl.handle.net/10097/8310

	はたけやま こういち
氏 名	畠 山 浩 一
授 与 学 位	博士 (工学)
学 位 授 与 年 月 日	平成 15 年 3 月 24 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 材料加工プロセス学専攻
学 位 論 文 題 目	調質銅合金薄板の成形加工性に及ぼす影響因子とその評価
指 導 教 官	東北大学教授 池田 圭介
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 池田 圭介 東北大学教授 丸山 公一 東北大学教授 粉川 博之

論文内容要旨

第 1 章 序論

自動車電装品や情報・通信機器等の電気・電子デバイスのコネクタ用材料には、強度、ばね性、成形性を重視し、導電率が～15%程度のりん青銅を中心とした固溶強化型銅合金が使われてきた。しかし、コネクタの小型化に伴って、ジュール熱によるコンタクトの過熱が顕在化し、また、より厳しい成形条件が強いられている。導電率低下につながる固溶強化元素量を最小に抑え、加工と低温熱処理を組み合わせることで所定の性質を得る調質銅合金で対処するには、成形性が最大の隘路となっている。

コネクタの成形は曲げ変形が主体である。曲げ加工性の優劣は、定性的には単軸引張試験における伸びから判断できるが、これまでは均一伸びを規定する n 値が曲げ加工性の指標にされてきた。りん青銅も黄銅もばね性を上げるために調質を施して使用に供されているが、 n 値が小さいにも関わらず、曲げ加工性に優れている。曲げひずみの大きな割合を不均一伸びが占めていることを意味しているが、 m 値が無視できる程小さいりん青銅や黄銅が大きな不均一伸びを示す理由に加え、曲げ加工性と不均一伸びの関係も不明のままであった。これらが解決すれば、りん青銅あるいは黄銅より導電性に優れ、良成形性も具備した調質銅合金開発への指針が得られると考えられる。

以上に鑑み、本研究では、単軸引張変形における不均一伸びに影響する因子および曲げ変形と均一伸び、不均一伸びとの対応関係の検討、曲げ変形時の破断の前駆現象であるシワの発生・成長機構の解明に基づいて、成形性に優れた高導電性希薄銅合金開発へ向けた指針を得ることを目的とした。

第 2 章 引張試験における不均一伸びの影響因子

板材の成形性に関する研究のほとんどは n 値を材料定数とみなし、単軸引張変形における均一伸びは n 値で与えられ、不均一伸びは n 値、 m 値で評価されている。冷間圧延後、再結晶温度以下で熱処理される調質銅合金は n 値が完全焼鈍材の約 1/10 に過ぎず、 m 値もほとんど 0 に近い。しかるに、均一伸びが小さくて不均一伸びが大きいもの、逆に、均一伸びが大きくて不均一伸びが小さいものなど多様である。調質銅合金に見られる挙動は従来の理論の枠内では説明できないことから、まず、均一伸び、不均一伸びに影響する因子を見直した。

調質銅合金の n 値は引張変形中に変化し、多くは、変形初期に減少した後に、増加に転じ、ひずみの増大に伴って増加率が小さくなる傾向を示した。均一伸びは $n = \varepsilon$ で与えられ、 n の極小値が $n_{min} < \varepsilon$

であれば均一伸びが小さく、 $n_{min} > \varepsilon$ ならば均一伸びが大きくなる。 n 値の変化とひずみ ε の対応関係に応じて多様な引張荷重－伸び曲線が見られる。 n 値が算定できるのは均一伸びの範囲に限られ、不均一伸び域での変化は不明であるが、均一伸びが小さく不均一伸びが大きい場合には、総じて $n_{min} < \varepsilon$ であり、不均一伸び域で n が増加に転じる結果として不均一伸びが大きくなると理解される。

n 値だけでなく、これまで全く注目されなかった塑性係数 K も変形中に変化することは確実で、しかも両者のひずみ依存性は材料毎に異なる。よって、 n や K に代わる新たなパラメータを導入して不均一伸びを評価した。引張破断時のひずみ分布は

$$e(x) = e_u + (e_f - e_u) \exp(-x/f)$$

の曲線で良く近似できる。式中の e_u 、 e_f は公称の均一伸び、公称の破断限界ひずみを、 f はひずみの分散度を表す係数である。上式右辺第 2 項目の積分値が $(e_f - e_u)$ と f の関数として表記される。両パラメータは独立ではなく、不均一伸びは $(e_f - e_u)$ の 2 次関数で近似できる (Fig.1)。上に記した式は実験式であるが、塑性不安定条件から妥当な関係であることが裏付けられた。

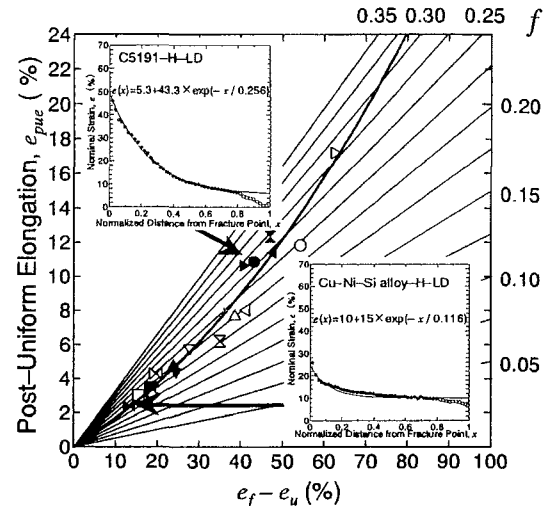


Fig.1 Relationship between post-uniform elongation and $(e_f - e_u)$.

第 3 章 曲げ加工性と不均一伸び影響因子との相関

曲げ変形時に、破断に先立って曲げ軸に平行なシワが出現する。シワの周期、深さは材料によって異なり、シワの周期が大きければ、シワ深さも大きく、曲げ性に劣る。シワの発生は塑性不安定の 1 つの形態と考えられ、引張変形における均一伸び、不均一伸びとの相関について調べた。

シワの発生に先立って、ほぼ結晶粒径に相当した間隔の微小な凹凸が観察される。これらの一部が成長・連結してシワを形成する。シワの凹部は明瞭に新生面を呈しており、ひずみが局在化している。均一伸びと不均一伸びの対応を見ると、微小な凹凸にひずみが集中して分断するひずみがほぼ均一伸びに相当し、シワ凹部の幅およびシワ凹部間の間隔が不均一伸びに依存していることが分かった。すなわち、シワ発生が n 値に、成長から破断に至る過程が $(e_f - e_u)$ もしくは f によって支配され、 n 値が小さくても $(e_f - e_u)$ が大きければシワは微細分散化し、曲げ加工性が向上することが明らかとなった (Table1)。

Table1 Width of hill and groove of wrinkles observed on bent surface.

Alloy		C5191-H		Cu-Ni-Si Alloy-H	
n		(0.052)		0.095	
$e_f - e_u$		43.3%		15.0%	
f		0.256		0.116	
W/t		2.5	50	2.0	40
$R/t=0.5$	$L_G (\mu m)$	16.8	18.6	30.6	32.5
	$W_b (\mu m)$	5.9	5.8	9.2	11.5
	$W_{b(max)} (\mu m)$	8.5	8.5	20.0	23.0
$R/t=4.0$	$L_G (\mu m)$	10.4	9.8	10.7	11.8
	$W_b (\mu m)$	1.9	2.2	1.4	1.7
	$W_{b(max)} (\mu m)$	3.5	4	2.5	3.0

第 4 章 曲げ成形におけるシワ発生と組織の関係

前章で、微細凹凸部の一部がシワ発生のきっかけとなると述べたが、シワ凸部が結晶粒数個分の幅を持っていることを考え合わせると、シワへの成長し易さに優劣があり、結晶粒間の方位差やメゾスケールでの方位配向に関連していると予想される。銅合金は合金元素量に依存して純金属型集合組織と合金

型集合組織の 2 種類があることを考慮に入れて、材料組織の面からシワへの成長のきっかけとなる部分の同定を試みた。

純金属型と合金型を比較すると、立方体方位の量と分布状態に特徴的な違いが認められた。純金属型では立方体方位の存在比が高く、ほぼ、シワ凹部間の間隔に対応するように、比較的大きな立方体方位粒が分布している一方で、合金型は立方体方位の割合が極めて少なく、微細な立方体方位粒が均一に分散していた (Fig.2)。立方体方位は、主方位の $\{011\}<211>-\{123\}<634>$ 方位との方位差が大きく、かつ引張変形で厚さが減少し易い。立方体方位は純金属型集合組織の再結晶集合組織成分であることが知られており、シワの微細分散化、ひいては曲げ加工性向上には合金型集合組織が有利であることが示された。

第 5 章 固溶強化型希薄銅合金 C19025 の引張強さと延性

固溶元素を減らして導電率を上げることと集合組織を合金化することは相反する対処になるが、純金属型と合金型の相違は合金元素量だけでなく、加工条件にも依存することが知られている。導電率が 40%IACS の C19025 希薄銅合金の集合組織は典型的な純金属型であるが、圧延率の増加あるいは圧延温度の低下によって合金型へ遷移する可能性がある。

そこで、高圧延率までの圧延を行い、集合組織遷移の可能性を検討したところ、圧延率が 80~85%以上で集合組織に変化が生じ、90%以上で合金型の集合組織が得られ、同時に立方体方位の減少が認められた。併せて、強度の増加、不均一伸びの若干の増加が見られ、以降の低温熱処理でさらに伸びが増加することが確認され、曲げ加工性の向上への展望が拓かれた。

第 6 章 コネクタ成形への応用

種々の条件で調質した C19025 薄板を試作し、コネクタ成形への応用を試みた。均一伸びが同程度になるように調質した純金属型の調質材と合金型の調質材を比較すると、合金型の方が、強度で約 10%、不均一伸びで 60%も向上し、厳しい曲げ条件にも対応できる曲げ加工性を有していることが確認された。また、打ち抜き工具寿命が 2 倍以上に延び、打ち抜き性向上も同時に達成された。

第 7 章 総括

本研究で得られた第 2 章から第 6 章までの結果を総括し、今後の課題を述べた。

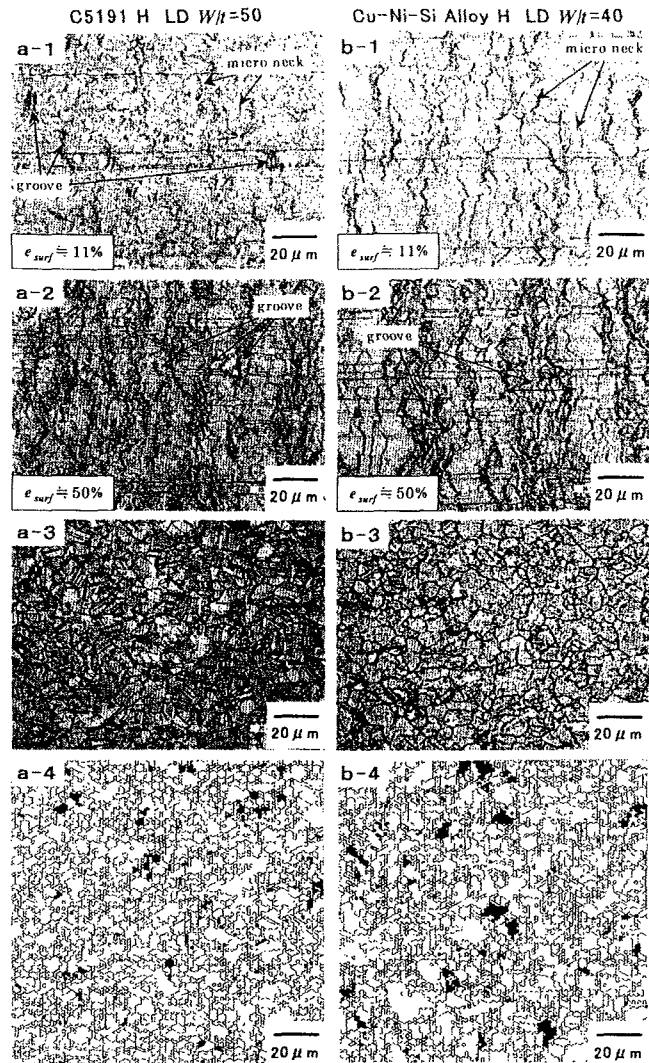


Fig. 2 Surface appearances after W-shape bending test carried out with $R/t=4.0$ (1) and 0.5 (2). Their initial micro structures(3). Their initial cube-oriented grains(4).

論文審査結果の要旨

電子機器の導電部材に多用されている銅合金薄板は、一層の小型化に伴い、強度・ばね性を維持しつつ、導電率、成形性の向上が求められている。本論文は、導電率低下を招く固溶強化元素を最小限に抑え、圧延・低温熱処理によって強度・ばね性を確保する調質銅合金の最大の難点である成形性改善に向けた研究成果をまとめたものであり、全編 7 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第 2 章では、調質銅合金は、成形性を左右する主要因子と言われている n 値、 m 値がともに小さく、成形性が変形の局在化の程度に依存することに注目して、不均一変形を支配するパラメータとして破断限界ひずみと均一伸びひずみの差、 $e_f - e_h$ およびひずみ分散係数 f を提案し、引張試験から簡便に求める方法を提示している。

第 3 章では、曲げ成形時に、破断の前駆現象として現れるしわの周期、振幅と均一伸びひずみ、不均一伸びひずみとの相関を詳細に検討し、曲げ外面の応力状態の如何を問わず、しわの核となる微小凹凸は n 値に、その成長は前章で提唱したパラメータに依存することを見出している。

第 4 章では、しわ発生の起点および成長過程を材料組織学的観点から検討し、しわ凹部の成長に立方体方位粒が関与していること、および合金型集合組織が純金属型集合組織よりもしわの微細分散化に有効であり、曲げ性向上が期待できることを明らかにし、材料組織の面から曲げ性改善に資する重要な結果を示している。

第 5 章では、合金元素添加を最小限に抑えて導電率を高めた希薄銅合金でも、圧延率の増加によって、純金属型集合組織から、曲げ性向上に有効と考えられる合金型集合組織への遷移が可能であることを見出し、その後の低温熱処理との組み合わせによって要求を満たす強度・ばね性が確保でき、併せて延性の増加が達成し得ることを確認している。

第 6 章では、前章の結果を受けて、実操業規模で試作した材料の引張りおよび曲げ試験による強度、曲げ性の評価、材料組織学的評価を行なった上で、コネクタ製品の成形に適用し、十分な成形性が確保できたことを実証している。

第 7 章は総括である。

以上要するに本論文は、調質銅合金薄板の成形性を支配する変形の局在化を簡便、かつ、定量的に評価する方法を提案するとともに、変形の局在化を緩和し、成形性向上につなげる組織制御に言及したもので、材料加工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。